

auteur et date

Institution interdépartementale
des bassins Rhône Saône

Hydratec - Sogreah - Minéa

Novembre 2000



Etude globale pour une stratégie de réduction des risques dus aux crues du Rhône



Etude du transport solide

intitulé du présent document

Etude du transport solide Synthèse de première étape

(version provisoire du 7 Novembre 2000)

IRS

Institution interdépartementale des bassins Rhône Saône

2000

Sommaire

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Les caractéristiques physiques du fleuve et de son bassin versant | 5 |
| 1.1 | Les grandes unités du bassin versant | 5 |
| 1.2 | Le régime hydrologique du Rhône | 7 |
| 1.3 | La morphologie du fleuve avant les premiers aménagements | 8 |
| 1.4 | Les alluvions du Rhône et leur mode de transport | 10 |
| 1.4.1 | Les matériaux transportés par suspension | 10 |
| 1.4.2 | Les matériaux transportés par charriage | 10 |
| 2 | Les apports en matériaux solides | 11 |
| 2.1 | Les apports naturels | 11 |
| 2.1.1 | Les apports au Rhône par charriage | 11 |
| 2.1.2 | Les apports de matériaux en suspension | 12 |
| 2.2 | Les apports actuels | 12 |
| 2.2.1 | Les apports au Rhône par charriage | 12 |
| 2.2.2 | Les apports au Rhône par suspension | 14 |
| 3 | Les principales évolutions du lit du Rhône et de son bassin versant | 17 |
| 3.1 | Les premiers aménagements sur le fleuve | 17 |
| 3.2 | Les aménagements hydroélectriques | 17 |
| 3.3 | Les mouvements de matériaux | 19 |
| 3.3.1 | Les extractions des matériaux grossiers | 19 |
| 3.3.2 | Les matériaux remobilisés | 19 |
| 3.4 | Les évolutions du lit depuis les premiers aménagements sur le Rhône | 21 |
| 3.4.1 | Le haut Rhône | 21 |
| 3.4.2 | Le Rhône entre la Saône et l'Isère | 21 |
| 3.4.3 | Le Rhône entre l'Isère et l'Ardèche | 21 |
| 3.4.4 | Le Rhône entre Donzère et Avignon | 22 |
| 3.4.5 | Le Rhône en aval d'Avignon | 22 |
| 4 | Le transit naturel des matériaux | 23 |
| 4.1 | le transit par charriage | 23 |
| 4.1.1 | Le Rhône en amont de Sault-Brénaz | 23 |
| 4.1.2 | De Sault-Brenaz à la Saône | 23 |
| 4.1.3 | De la Saône à l'Isère | 23 |
| 4.1.4 | Entre l'Isère et Donzère | 23 |
| 4.1.5 | Entre Donzère et Avignon | 23 |
| 4.1.6 | En aval d'Avignon | 24 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.1.7 | Evaluation du transit naturel | 24 |
| 4.2 | Le transit par suspension | 26 |
| 5 | le transit actuel | 27 |
| 5.1 | Les principaux impacts des aménagements CNR sur le transport solide | 27 |
| 5.1.1 | Réduction de la pente hydraulique dans les retenues, | 27 |
| 5.1.2 | La réduction des débits dans les vieux Rhônes | 28 |
| 5.1.3 | la restitution « d'eaux claires » dans le Rhône | 30 |
| 5.2 | Evaluation du transit actuel par charriage | 30 |
| 5.2.1 | Le haut Rhône | 30 |
| 5.2.2 | De la Saône à l'Isère | 30 |
| 5.2.3 | De l'Isère à l'Ardèche | 30 |
| 5.2.4 | De l'Ardèche à la mer | 30 |
| 5.2.5 | Synthèse du transit actuel | 30 |
| 5.3 | Le transit par suspension | 31 |
| 6 | Premières conclusions | 32 |

Préambule

L'Institution Interdépartementale des Bassins Rhône Saône, avec l'appui des autres partenaires du bassin, Agence de l'Eau, Diren de bassin et Compagnie Nationale du Rhône, a engagé en 1998 l'étude globale pour une stratégie de réduction des risques dus aux crues du Rhône. Cette étude qui fait suite aux recommandations de la commission d'enquête du Ministère de l'Environnement en avril 1994, vise à définir un programme d'actions au niveau du bassin versant compris entre la frontière franco-suisse et la mer, pour diminuer les dommages dus aux inondations.

L'étude comprend quatre volets techniques :

- Caractérisation des régimes hydrologiques des crues du Rhône et de ses principaux affluents,
- Etude sur modèle mathématique des conditions d'écoulement des crues. Détermination des zones inondées pour les scénarios de crue définis dans le volet précédant, dans la situation actuelle et pour différents scénarios de gestion et d'aménagement de la vallée.
- Analyse des évolutions morphologiques du lit et de la dynamique fluviale du Rhône. Impact de ces évolutions sur le fonctionnement en crue et des milieux naturels du Rhône.
- Analyse de l'occupation des sols dans la vallée inondable et détermination des impacts socio économiques, humains et environnementaux liés aux crues dans la situation actuelle et pour différents scénarios de gestion et d'aménagement de la vallée.

Le présent rapport constitue le document de synthèse de la première étape l'étude du transport solide du Rhône réalisée par la société Sogreah. Il décrit les principaux mécanismes de la dynamique fluviale du Rhône et les causes de ses dysfonctionnements actuels.

Afin de proposer un cadre cohérent sur le fonctionnement global du Rhône, le document décrit successivement :

- les principales entités géomorphologiques du bassin alimentant en transport solide les affluents du Rhône,
- l'évolution au cours du temps des apports solides au Rhône,
- les mécanismes de transport solide du fleuve,
- la morphologie du fleuve et ses principales évolutions liées aux aménagements sur le Rhône et son bassin versant,
- le transit « naturel » (avant les premiers aménagements sur le Rhône) et actuel des alluvions, et les causes des perturbations du transit actuel,
- les principales conséquence sur le fonctionnement de l'hydrosystème et du fleuve en crue.

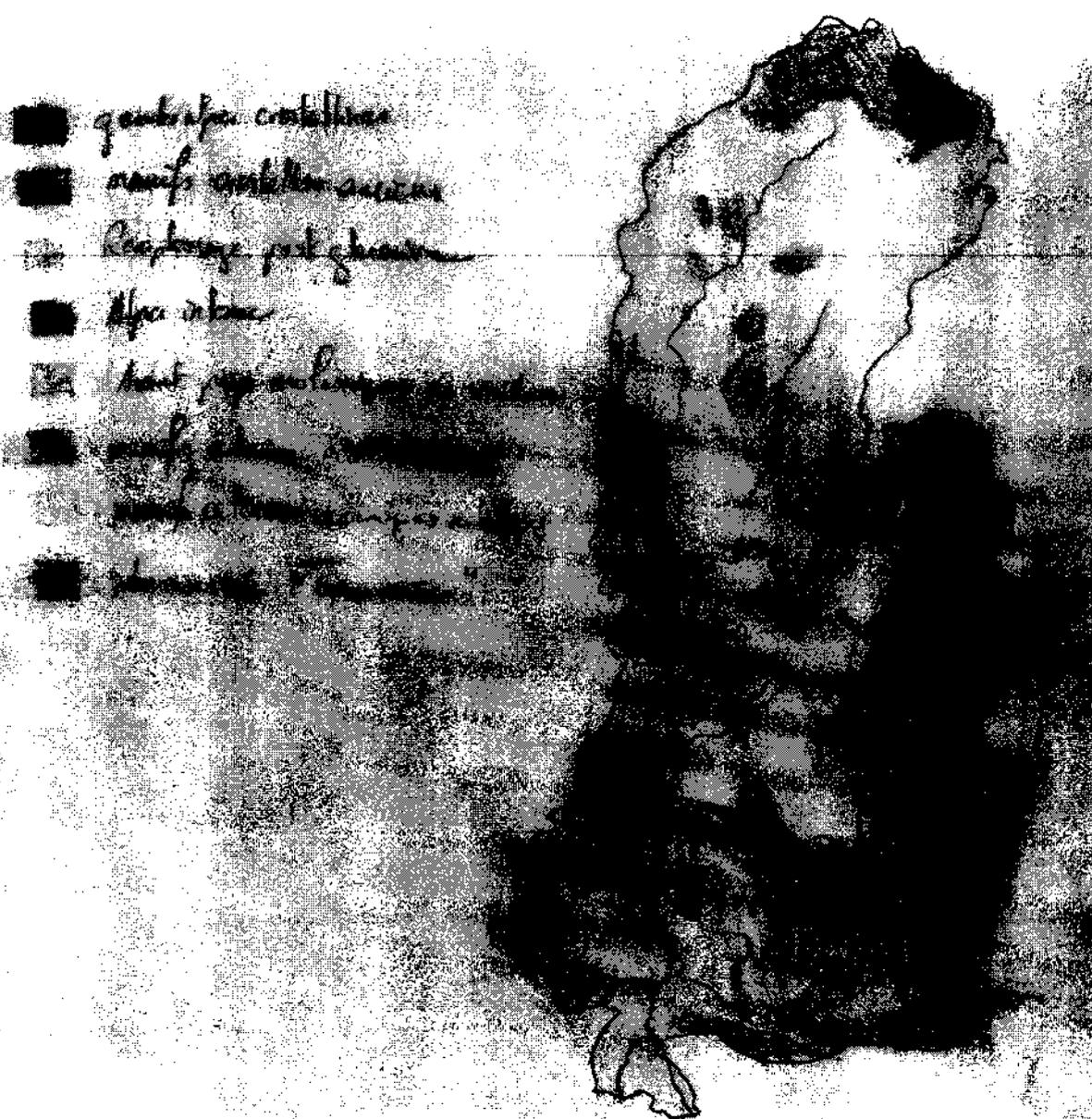
1 Les caractéristiques physiques du fleuve et de son bassin versant

1.1 Les grandes unités du bassin versant

Le bassin versant du Rhône se présente comme un ensemble géomorphologique complexe et diversifié. On peut distinguer sept grandes unités géomorphologiques (voir carte ci-après).

- **Les hautes chaînes alpines.** Ces massifs d'origine récente et au relief vigoureux constituent les bassins versants supérieurs de l'Arve, de l'Isère et de la Durance. On distingue les alpes interne à la géologie très diversifiée et les grandes alpes cristallines. Les alpes internes, composés en grande partie de roches schisteuses de qualité médiocre et encore peu érodées par le temps apportent des quantités importantes de matériaux à granulométrie étendue dans les cours d'eau. Les grandes alpes à roches cristallines plus saines, apportent peu de matériaux dans les cours d'eau, excepté par abrasion glaciaire (massif du Mont Blanc, de l'Oisan et accessoirement de Belledonne).
- **Les grands massifs calcaires (Jura et Préalpes).** Ils se caractérisent par des reliefs modérés pour le Jura et les préalpes méditerranéennes, et des reliefs plus vigoureux pour les préalpes du nord. Les apports solides dans les cours d'eau (Arve, Fier, Ain, Isère, et affluents méditerranéens de rive gauche du Rhône) sont en général faible à modérés.
- **Les massifs des terres noires.** Constitués de marnes noires très érodables, ils se caractérisent par un relief peu accentué. Soumis au régime des crues méditerranéennes, ces massifs apportent dans la Durance et dans le Drac de grandes quantités de matériaux grossiers.
- **Les piémonts molassiques .** Ils occupent l'avant pays savoyard (bassins inférieurs de l'Arve, du Fier et du Guiers) et les plateaux de Chambarran de Bonnevaux et des terres froides(Galaure, Herbasse). Les molasses altérées apportent dans les vallons souvent encaissés une charge sédimentaire modérée.
- **Les massifs cristallins anciens.** Ils intéressent les bassins versant de la Saône et des rivières cévenoles situés sur le rebord oriental du massif central. Constitués de roches siliceuses cristallines peu altérables, leurs contribution à la recharge sédimentaire des cours d'eau est très faible.
- **Les vallées fossiles constituées de remplissages fluvioglaciers.** Certaines de ces vallées continuent encore de se combler et n'apportent donc pratiquement aucune charge solide au Rhône (Rhône Supérieur, Isère, et bassins du Bas Dauphiné).
- **Le delta du fleuve.** Il s'étend depuis Beaucaire -Tarascon au nord, la costière du Gard et le Vidourle à l'Ouest, la Crau et le golf de Fos à l'Est. Constitué par les dépôts successifs des alluvions du fleuve et de la Durance, cette plaine alluviale repose sur un remplissage tertiaire complexe constitué de sédiments marins et continentaux.

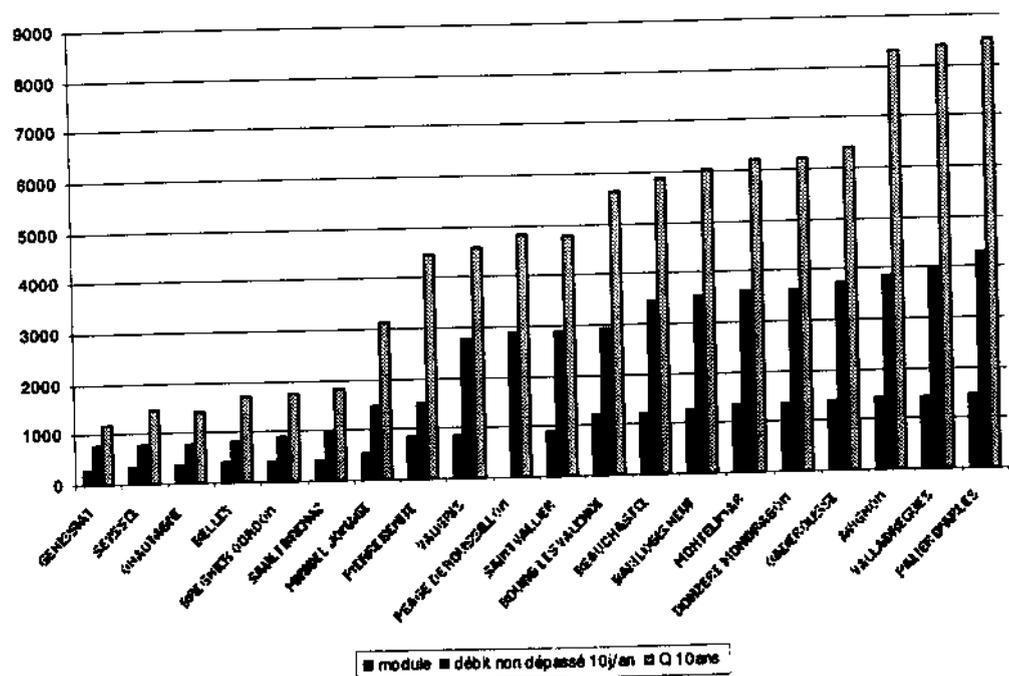
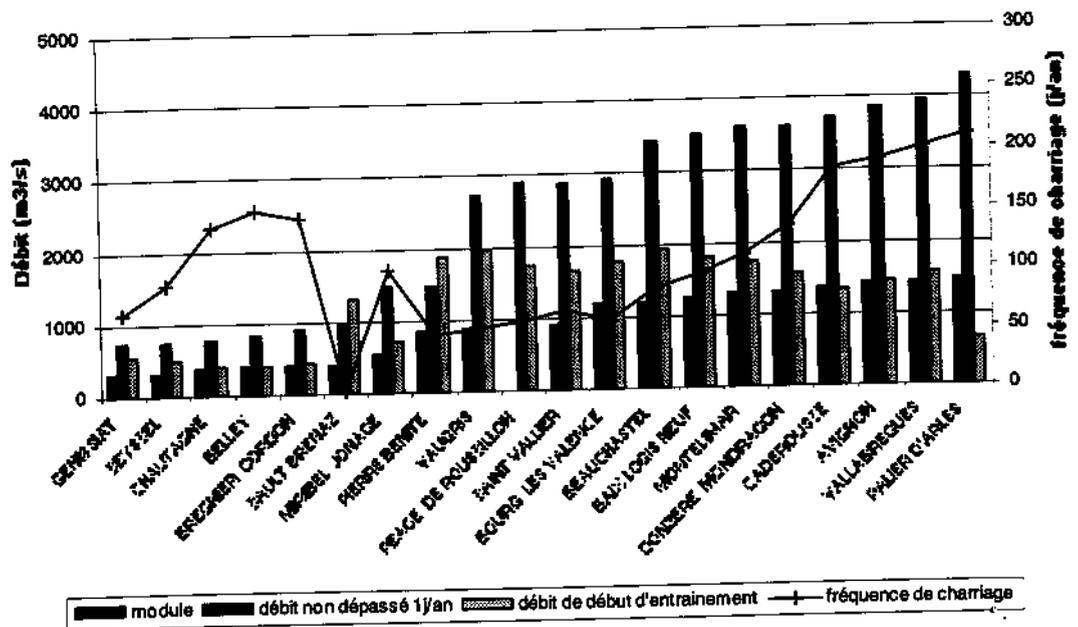
Carte des grandes unités géoclimatiques du bassin versant du Rhône



1.2 Le régime hydrologique du Rhône

Le fleuve se caractérise par des débits importants toute l'année. Cette particularité de l'hydrologie du Rhône trouve son explication dans la diversité des régimes et la puissance des affluents. Ainsi le débit décennal du Rhône n'est que 5 à 6 fois supérieur à son débit moyen annuel. Cette régularité des débits conduit à un transit de gravier peu intense mais très fréquent, de l'ordre de 100 jours/an. Ainsi les périodes de hautes eaux inférieures au crues annuelles assurent elles la quasi totalité du transit des graviers.

Evolution des débits caractéristiques du Rhône



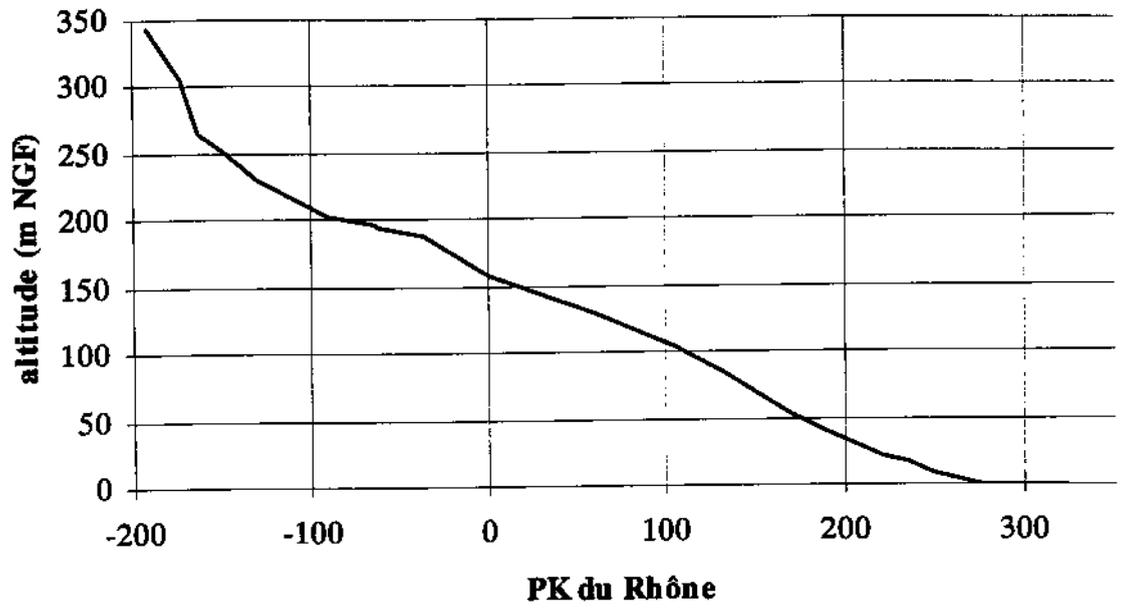
1.3 La morphologie du fleuve avant les premiers aménagements

La pente du fleuve entre le lac Léman et la mer ne suit pas une décroissance continue de l'amont vers l'aval. Son évolution est liée en effet à la présence d'affleurement et de verrous rocheux et à la charge grossière apportée par les affluents.

La vallée du Rhône peut être découpée en 6 tronçons morphologiques homogènes:

- **Les gorges du Rhône supérieur en amont de Génissiat** : le lit présente une pente supérieure à 3‰ et a été creusé dans le massif calcaire de Bellegarde. Du fait de sa pente importante imposée par le cadre structural de la vallée, le Rhône présentait avant la réalisation du barrage de Génissiat, une capacité de transport solide nettement supérieure à la charge venant de l'amont.
- **Les aires de surcreusement glaciaire en cours de remplissage** : Entre Seyssel et Sault-Brénaz, les vals du Rhône ont été creusés et partiellement déblayés de leur remplissage molassique durant l'époque glaciaire. Depuis, les alluvions fluviales du Rhône remplissent les ombilics glaciaires des Basses terres, de Chautagne, de Lavours et du lac du Bourget. Ces ombilics sont délimités par des verrous rocheux : défilés de Pierre Chatel et de la Balme, seuil de Sault-Brenaz. Le remplissage post-glaciaire du Rhône n'est aujourd'hui pas terminé. Il entraîne une interruption totale du transit des matériaux en aval de Sault-Brénaz et un exhaussement progressif du lit en amont.
- **Le Rhône de Sault-Brenaz à la confluence de la Saône**. L'amont du secteur, creusé dans les terrasses fluvio-glaciaires, se caractérise par une pente modérée (0.3‰) et une faible mobilité latérale du lit. En aval de la confluence de l'Ain, les apports importants en matériaux solide de la rivière ont eu pour conséquence d'accroître très sensiblement la pente du fleuve et sa mobilité latérale (dépôt et reprise des matériaux de l'Ain).
- **Le tiers amont du Bas Rhône entre la Saône et l'Isère**. La pente relativement modérée (0.55‰) et les faibles apports en matériaux grossiers (interruption du transport par charriage en aval de la Saône) ont limité la mobilité naturelle du lit sur ce secteur. Le Rhône relativement rectiligne entre Lyon et Andance, devenait plus divagant entre Andance et Chasse sur Rhône.
- **Le tiers médian du bas Rhône entre l'Isère et l'Ardèche** : Ce secteur se caractérise par une pente plus forte (localement supérieure à 0.8‰) associée à de fréquents affleurements rocheux et recevait des apports en matériaux grossiers de la Drôme et des affluents cévenols. Le fleuve présentait avant les premiers aménagements pour la navigation, une morphologie de lit en tresse sur de nombreux secteurs, notamment au confluent de la Drôme, et en aval du défilé de Donzère.
- **Le tiers aval du Bas Rhône**. La pente du fleuve décroît sensiblement en aval de Pont Saint Esprit. Ce secteur a été affecté par la remontée du niveau marin après le maximum glaciaire. Elle a contribué au réalluvionnement de la basse vallée. Le fleuve divaguait alors librement et développait un lit à bras multiples. Les apports importants en matériaux solide provenant de la Durance et du Rhône amont se sont progressivement déposés édifiant le delta actuel.

Profil en long du Rhône



1.4 Les alluvions du Rhône et leur mode de transport

1.4.1 Les matériaux transportés par suspension

Le transport par suspension intéressent les sables et limons de diamètre inférieur à 0.2mm. Le transit se fait rapidement à une vitesse moyenne d'environ 100 kilomètres en 24 heures. Ce mode de transport n'agit que très faiblement sur la morphologie du fleuve. En effet, en situation naturelle, les mécanismes de dépôt-reprise des matériaux sont relativement marginaux. Après les grands aménagements sur le fleuve, les phénomènes de sédimentation dans les retenues et d'exhaussement des marges boisées par accumulation des sédiments non repris par les écoulements de crue sont devenus prédominants.

1.4.2 Les matériaux transportés par charriage

La transition entre les deux modes de transport par charriage et suspension se situe en général dans les sables de diamètre compris entre 0.2 à 1mm. Ceux ci peuvent donc être transportés, soit par suspension dans les secteurs à forte pente (Rhône supérieur en amont de Chanaz, entrée de Lyon, tiers central du bas-Rhône) soit par charriage dans les secteurs à plus faible pente (delta). Les matériaux grossiers, de diamètre supérieur à 1mm sont transportés principalement par charriage. La granulométrie des alluvions grossières ne suit cependant pas la décroissance « classique », habituellement observée de l'amont vers l'aval sur d'autres cours d'eau. En effet l'absence de continuité du transit naturel des alluvions et la recharge sédimentaire parfois importante apportée par les affluents ne permettaient pas la décroissance progressive de la taille des sédiments par usure et tri granulométrique.

La vitesse de transit des matériaux par charriage peut être évaluée à environ 2km/an sur le Rhône. Le charriage est donc un mode de transport des matériaux extrêmement lent : il faut plusieurs décennies pour faire parcourir près de 100 km aux galets du Rhône ! le transport solide par charriage réagit ainsi avec une très grande inertie aux différentes évolutions naturelles du fleuve ou aux actions menées dans le lit et sur ses affluents (extractions, barrages de retenues, endiguements). On peut ainsi retenir trois enseignements importants du transit par charriage sur le Rhône :

- Le transit des alluvions par charriage était continu sur des tronçons limités du fleuve où un équilibre existait entre la charge solide disponible (stock alluvial du Rhône et matériaux solides des affluents) et la capacité de transport du fleuve.
- A l'échelle du bassin, cette continuité du transport solide était interrompue afin de permettre au lit d'évoluer vers un équilibre encore non atteint : remplissage des cuvettes glaciaires en amont de Sault-Brenaz, dépôt des matériaux de l'Ain en amont de Lyon.
- La réduction à court terme des apports solide au Rhône ne peut s'expliquer ni par les travaux de reforestation et de restauration des terrains de montagne ni par l'interruption des graviers loin du confluent avec le Rhône (extractions, retenues). En effet, le stock alluvial présent dans les parties terminales des affluents et dans le fleuve lui-même, pourraient suffire à assurer à moyen terme la recharge sédimentaire nécessaire au transit par charriage dans le fleuve.

2 Les apports en matériaux solides

2.1 Les apports naturels

2.1.1 Les apports au Rhône par charriage

Les principaux affluents qui apportaient naturellement des charges solides significatives au Rhône se situent (excepté pour la Durance) en amont de l'Ardèche. En effet, en aval de la confluence de l'Ardèche, la remontée du niveau marin liée au retrait progressif des glaciers a réalluvionné la basse vallée du Rhône et a interrompu le transit des graviers dans les plaines terminales. La charge totale qui arrivait au Rhône pouvait être estimée entre 800 000 et 900 000 m³/an. L'Arve, l'Ain, l'Isère et la Durance en apportaient à eux seuls 75%.

On distingue :

- **Les rivières alpestres ayant pratiquement achevé le remplissage des surcreusements glaciaires** et qui assurent ainsi la continuité du transport solide jusqu'au Rhône : l'Arve, le Fier et accessoirement les Usses.
- **Les autres cours d'eau Alpestre en cours de réalluvionnement des surcreusements glaciaires.** Il s'agit de l'Isère, du Rhône supérieur en amont de Sault-Brénaz, accessoirement de la Bourbre et des rivières du Bas Dauphiné (plaine de Bièvre-Valloire). Ces vallées sont encore en phase de réalluvionnement et n'assurent pas le transit de la charge solide en aval.
- **L'Ain.** Les matériaux solides issus du démantèlement de terrasses fluvioglaciales étaient transportés jusqu'au confluent. Les apports en graviers étaient naturellement abondants et contribuaient à accroître la pente du Rhône en aval et à développer un style tressé jusqu'aux portes de Lyon.
- **La Saône.** Elle se caractérise par une pente très faible liée au comblement d'un ancien lac glaciaire (lac de Bresse) et ne permet pas le transport des matériaux grossiers.
- **Les affluents du massif central entre le Gier et l'Escoutay (Cance, Doux, Eyrieux, Ouvèze, Ardèche).** Ces rivières taillées dans les roches cristallines du massif hercynien apportent des charges solides modérées. Le transit de la charge grossière se faisait néanmoins jusqu'au fleuve.
- **La Drôme.** Cette rivière se caractérise par une dynamique fluviale active qui permettait un charriage continu des alluvions grossières jusqu'au Rhône.
- **La Durance.** Malgré l'exhaussement du Rhône dû à la remontée du niveau marin après le maximum glaciaire, la Durance a été assez puissante pour alluvionner sa basse vallée et transporter son importante charge solide jusqu'au fleuve.
- **Les affluents du bas Rhône en aval du défilé de Donzère Mondragon.** Ces affluents ont été affectés par le réalluvionnement du niveau du Rhône après la période glaciaire. Excepté la puissante Durance, ils n'ont pas achevé l'alluvionnement de leur plaine terminale (Aygues, Cèze, Ouvèze de Bédarrides, Gard).

2.1.2 Les apports de matériaux en suspension

Le transit des matières en suspension avait lieu sans discontinuité naturelle jusqu'au Rhône. Les affluents alpestres (Arve, Fier, Isère, Durance) et la Saône sont les « gros pourvoyeurs » de matières en suspension. L'Arve, l'Isère et la Durance d'une part et la Saône d'autre part apportaient respectivement 80% et 10% de la charge totale de matières en suspension au Rhône. La charge totale de matières en suspension arrivant au Rhône était estimée à environ 20 Mt/an en 1950.

2.2 Les apports actuels

2.2.1 Les apports au Rhône par charriage

Les apports actuels en matériaux solides arrivant au Rhône ont considérablement diminué. On estime ainsi que la charge globale apportée par charriage jusqu'au fleuve est passée de près de 1Mm³/an au début du 20^{ème} siècle à moins de 0.2 Mm³/an actuellement.

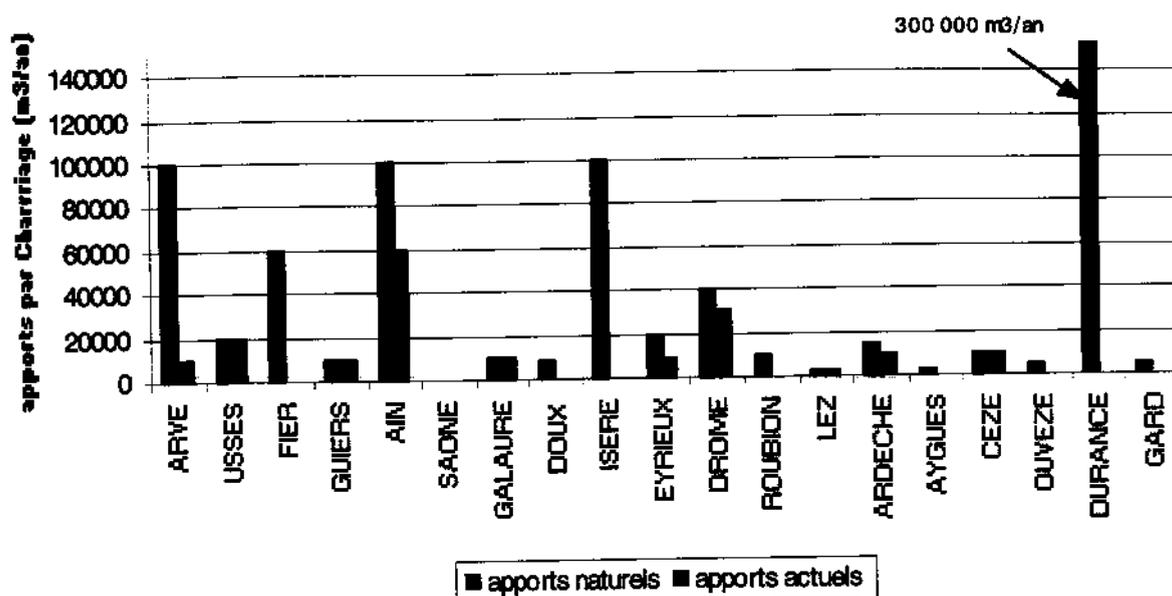
Cette diminution drastique des apports de matériaux grossiers dans le Rhône s'explique par :

- **Les aménagements hydroélectriques sur certains affluents : l'Arve, le Fier, l'Ain, l'Isère et la Durance.** Ces aménagements ont pour conséquences de modifier les régimes hydrologiques des cours d'eau dans les tronçons court-circuités (baisse de la fréquence des débits d'entraînement des matériaux) et de piéger les sédiments dans les retenues.
- **Les extractions massives effectuées depuis une cinquantaine d'années sur l'ensemble des affluents.** Les extractions en lit mineur sont maintenant interdites. Le tableau ci-après récapitule les volumes d'extractions estimés sur la période 1970-1990. Ils montrent que les extractions annuelles représentaient fréquemment 5 à 10 fois les volumes annuels d'apports naturels au Rhône.
- **Les dragages d'entretien dans les terminaisons aval des affluents confluant au Rhône dans les retenues CNR (Drôme, Doux, Eyrieux, etc.)**

Aujourd'hui, les affluents n'apportant plus ou très peu (< 10 000 m³/an) de charge solide grossière au Rhône du fait de ces interruptions artificielles sont principalement : l'Arve, le Fier, la Saône, le Doux, l'Eyrieux, l'Isère, l'Ardèche et la Durance. Seuls les Usses, le Guier, l'Ain, la Galaure et la Drôme qui présentent une transit peu ou pas perturbé apportent encore une charge solide significative au Rhône.

La figure ci-après illustre l'évolution des apports au Rhône entre la situation « naturelle » avant le début des extractions et la situation actuelle.

Répartition des apports solides au Rhône pour la situation « naturelle » et la situation actuelle



Estimation sommaire des volumes extraits durant les dernières décennies (1950 –1990)

| affluent | Apport naturel au Rhône par charriage en milliers de m3/an | Extractions en milliers de m3/an | Volume total extrait en milliers de m3 |
|--------------------------------|--|----------------------------------|--|
| Arve | 100 à 150 | 260 à 300 | 10 000 |
| Fier | 60 | 100 à 200 | 3 000 à 4 000 |
| Ain | 100 | (?) | Non déterminé |
| Saône | 0 | (?) | Non déterminé – extractions massives de sable entre 1960 et 1980 dans lit mineur |
| Doux | 8 | 2.5 (dans partie aval) | 50 à 100 |
| Eyrieux | 20 | 8 | 200 au confluent (entre 1970 et 2000) |
| Isère et Drac | 100 | 500 à 1000 | > 15 000 dans la plaine de Grenoble entre 1950 et 1980 |
| Drôme | 40 | 40 | 1 000 à 10 000 (dans plaine aval) |
| Ardèche | 15 à 40 | 300 à 400 | 6 000 |
| Aygues | 2 à 5 | 10 à 15 | 500 |
| Cèze | 10 | 10 | 100 (au confluent) |
| Ouvèze de Bédarrides | 5 | 145 | 2 600 (en amont de Bédarrides) |
| Durance | 300 | 2000 | 50 000 à 60 000 |
| Gard | 5 à 10 | Environ 1000 | Environ 25 000 |
| Total estimé par défaut | 765 à 850 | 4 375 à 5 120 | Non déterminé |

2.2.2 Les apports au Rhône par suspension

La diminution des matières en suspension apportées au Rhône est beaucoup moins importante. Elle concerne essentiellement l'Ain, l'Isère, et la Durance et s'explique principalement par :

- La mise en service des barrages réservoirs sur la Durance, le Verdon, le Drac et l'Ain,
- Les travaux de restauration des terrains de montagne à partir du milieu du 19^{ème} siècle.

Les apports de matières en suspension au Rhône sont estimés actuellement à environ 10 Mt/an

Principales caractéristiques du transport solide sur les affluents et évolution des apports au Rhône

| Affluent | Superficie BV (Km ²) | Régime naturel | | | Régime actuel | | |
|-----------------|----------------------------------|---|---------------------------------|--------------------|---|---------------------------------|---------------------------------|
| | | Caractéristiques | Charrriage (m ³ /an) | Suspension (Mt/an) | Caractéristiques | Charrriage (m ³ /an) | Suspension (m ³ /an) |
| Arve | 1985 | Alluvionnement de la haute vallée. Continuité du transport solide jusqu'au Rhône. | 100 à 150 000 | 1 à 3.6 | Transit solide fortement perturbé par les extractions sur le cours aval. | < 10 000 | 1 à 3.6 |
| Usses | | Rivière à fort transport solide jusqu'au Rhône. | 20 000 | 0.1 | Transit solide peu perturbé. | 20 000 | 0.1 |
| Valsérine Séran | | Rivière à transport solide modéré. Apports au Rhône naturellement faible. | -- | - | Transit solide peu perturbé. | - | - |
| Fier | 1385 | Charge sédimentaire moyenne. Continuité du transport solide jusqu'au Rhône. | 60 000 | 0.5 | Transit perturbé par les extractions sur le cours amont et interrompu par le barrage de Motz. | 0 | 0.5 |
| Guiers | 600 | Transport solide modéré. | 10 à 20 000 | 0.1 | Transit solide peu perturbé. | 10 à 20 000 | 0.1 |
| Bourbre | 700 | Vallée en cours de remplissage alluvionnaire. Transit interrompu avant le Rhône. | 0 | 0.1 | Pas d'apports naturel de graviers. | 0 | 0.1 |
| Ain | 3670 | Recharge sédimentaire importante dans la basse vallée. Transport solide ininterrompu jusqu'au Rhône. | 100 000 | 0.15 à 0.3 | Interruption du transit par les barrages en amont de Pont d'Ain. Recharge sédimentaire en aval. | 60 000 | 0.1 |
| Saône | 29908 | Vallée à faible pente. Faible transport solide par charriage. | 0 | 1.5 à 3 | Transit des sables perturbé par les fosses d'extractions. | 0 | 1.5 à 3 |
| Galaure | 260 | Transport solide au Rhône issus des terrains molassiques. | 10 000 | | Transit solide peu perturbé. | 10 000 | |
| Doux | 378 | Transport solide modéré (bassin cristallin). | 8 000 | 0.02 | Transit solide perturbé par les extractions en partie médiane. | | 0.02 |
| Isère | 11800 | Vallée en cours de remplissage alluvionnaire. Transit des graviers partiellement interrompu avant le Rhône. | 100 000 | 4.5 | Transit des graviers totalement interrompu par les barrages et les extractions. | 0 | 3.5 |
| Eyrieux | 854 | Transport solide modéré (bassin cristallin) | 20 000 | 0.04 | Transit des sables perturbé par les extractions. | 8 000 | 0.04 |

Principales caractéristiques du transport solide sur les affluents et évolution des apports au Rhône

| Affluent | Superficie BV (Km ²) | Régime naturel | | | Régime actuel | | |
|----------------------|----------------------------------|---|---------------------------------|--------------------|---|---------------------------------|---------------------------------|
| | | Caractéristiques | Charrriage (m ³ /an) | Suspension (Mt/an) | Caractéristiques | Charrriage (m ³ /an) | Suspension (m ³ /an) |
| Drôme | 1642 | Alluvionnement de la basse vallée mais continuité du transport solide jusqu'au Rhône. | 40 000 | 0.2 | Transit des graviers perturbé par les extractions. Recharge sédimentaire en aval. | 30 000 | 0.2 |
| Roubion | 600 | Transport solide modéré mais continu jusqu'au Rhône. | 10 000 | 0.05 | Interruption du transit des graviers par l'ouvrage siphon. | 0 | 0.05 |
| Lèz | 310 | | 2 000 | 0.02 | Transit solide peu perturbé. | 2 000 | 0.02 |
| Ardèche | 2430 | Alluvionnement inachevé de la plaine terminale. Interruption partielle du transport solide avant le Rhône. | 15 000 à 40 000 | 0.1 à 0.2 | Transit des graviers perturbé par les extractions. | 10 000 | 0.1 à 0.2 |
| Aygues | 1150 | | 2 000 à 5 000 | 0.1 à 0.2 | Transit résiduel des graviers totalement interrompu par les fosses d'extraction. | 0 | 0.1 à 0.2 |
| Cèze | 1309 | | 10 000 | 0.1 | Transit solide peu perturbé. | 10 000 | 0.1 |
| Ouvèze de Bédarrides | | | 5 000 | 0.1 à 0.2 | Transit résiduel des graviers totalement interrompu par les fosses d'extraction. | 0 | 0.1 à 0.2 |
| Durance | 14400 | Transport solide important et continu jusqu'au Rhône malgré une tendance à l'alluvionnement de la plaine terminale. | 300 000 | 6 | Transit des graviers fortement perturbé par les ouvrages hydroélectriques et les extractions. | 0 | 1.8 |
| Gard | 2070 | Alluvionnement inachevé de la plaine terminale. Interruption partielle du transport solide avant le Rhône. | 5 000 à 10 000 | 0.1 à 0.2 | Transit résiduel des graviers totalement interrompu par les fosses d'extraction. | 0 | 0.1 à 0.2 |
| Total | | | 817 000 à 910 000 | 14.8 à 19.2 | | 170 000 à 180 000 | 9.5 à 14.0 |

3 Les principales évolutions du lit du Rhône et de son bassin versant

3.1 Les premiers aménagements sur le fleuve

On peut distinguer trois principales étapes dans l'aménagement du Rhône depuis le milieu du 18^{ème} siècle jusqu'au début du 20^{ème} siècle.

- **La construction d'endiguements insubmersibles** par les riverains pour se protéger contre les crues à partir du début du 18^{ème} siècle. La construction de ces digues devient systématique après les très fortes crues de novembre 1840 et mai 1856.
- **L'aménagement du lit mineur pour la navigation.** Les premiers aménagements entrepris dès le milieu du 18^{ème} siècle ont consisté en la construction de digues submersibles en rive concave et en la fermeture systématique des bras secondaires. Afin de protéger localement certaines terres agricoles, ces digues sont parfois insubmersibles.
- **L'aménagement systématique du Rhône entre Lyon et Arles.** Les travaux pour l'amélioration de la navigation sur le Rhône deviennent systématiques entre Lyon et Arles à partir de la fin du 19^{ème} siècle. La conception des premiers aménagements à courant libre a été modifiée par Girardon en 1884. Les nouveaux aménagements associent l'utilisation d'épis plongeurs et noyés et des seuils de fond avec des digues submersibles de resserrement du lit. La réalisation de ces aménagements s'est poursuivie jusqu'en 1938.

3.2 Les aménagements hydroélectriques

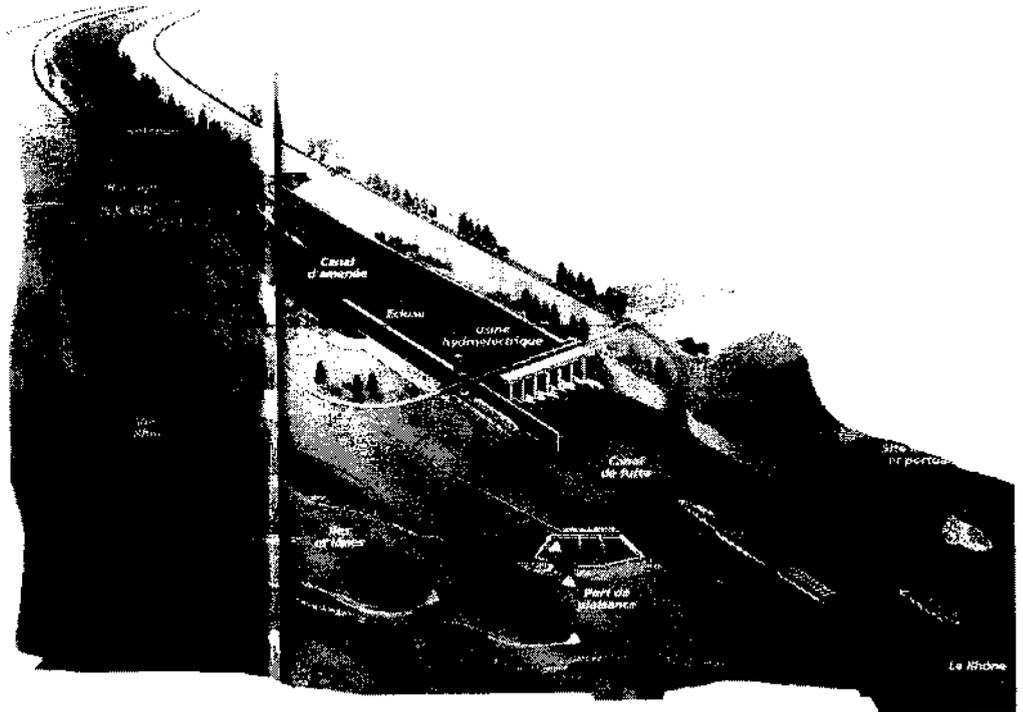
Le premier aménagement hydroélectrique sur le Rhône a été réalisé en 1899 à Cusset en amont immédiat de Lyon. Ensuite, la Compagnie Nationale du Rhône créée en 1934, entreprend à partir de 1950 l'aménagement général du Rhône. Ces travaux s'achèvent en 1986 par la mise en service de l'aménagement de Sault-Brenaz sur le Haut Rhône.

On distingue deux types d'aménagement sur le Rhône :

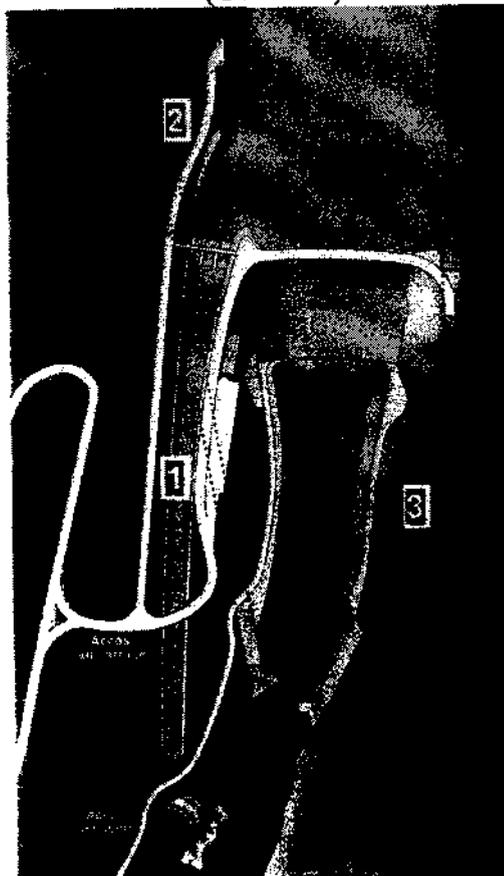
- Les retenues de Génissiat, de Seyssel et de Vaugris ne comportant pas d'ouvrage de dérivation des débits. Ces aménagements sont donc constitués d'un barrage de retenue sur le fleuve et d'une usine hydroélectrique intégrée au barrage.
- les autres aménagements (15 au total) comprenant un barrage de retenue sur le fleuve, un canal dérivant les débits du Rhône, et une usine hydroélectrique implantée sur le canal. Ces aménagements correspondent à une vingtaine de kilomètres de fleuve.

Schéma de principe des aménagements CNR et profil en long du Rhône aménagé

Aménagement hydroélectrique sur le Rhône avec barrage de retenue et canal de dérivation



Aménagement sur le Rhône avec barrage de retenue sans canal de dérivation
(Génissiat)



3.3 Les mouvements de matériaux

3.3.1 Les extractions des matériaux grossiers

Ces opérations consistent à extraire du lit mineur du Rhône les matériaux grossiers (sables et galets) transportés par charriage. Elles sont aujourd'hui les principales causes des évolutions constatées dans le lit du fleuve. **Le volume annuel des graviers extraits sur les trente dernières années atteint 900 000 m³/an, soit le volume d'apport « naturel » en matériaux grossiers charriés par les affluents.**

On distingue :

- **Les extractions des matériaux grossiers (sables et galets) effectuées pour des raisons économiques** . Ces extractions ont été effectuées principalement pour la construction des aménagements sur le Rhône, des grandes infrastructures de transport et énergétiques (autoroutes, voies ferrées, centrales EDF, etc.).
- **Les extractions de matériaux pour l'entretien des lits des Rhônes court-circuités**. Ces extractions sont rendues nécessaires pour éviter une aggravation des lignes d'eau de crue liée à l'engraissement du lit dans certains secteurs (zones de confluence, etc.).
- **Les extractions énergétiques en aval immédiat des restitutions.**

3.3.2 Les matériaux remobilisés

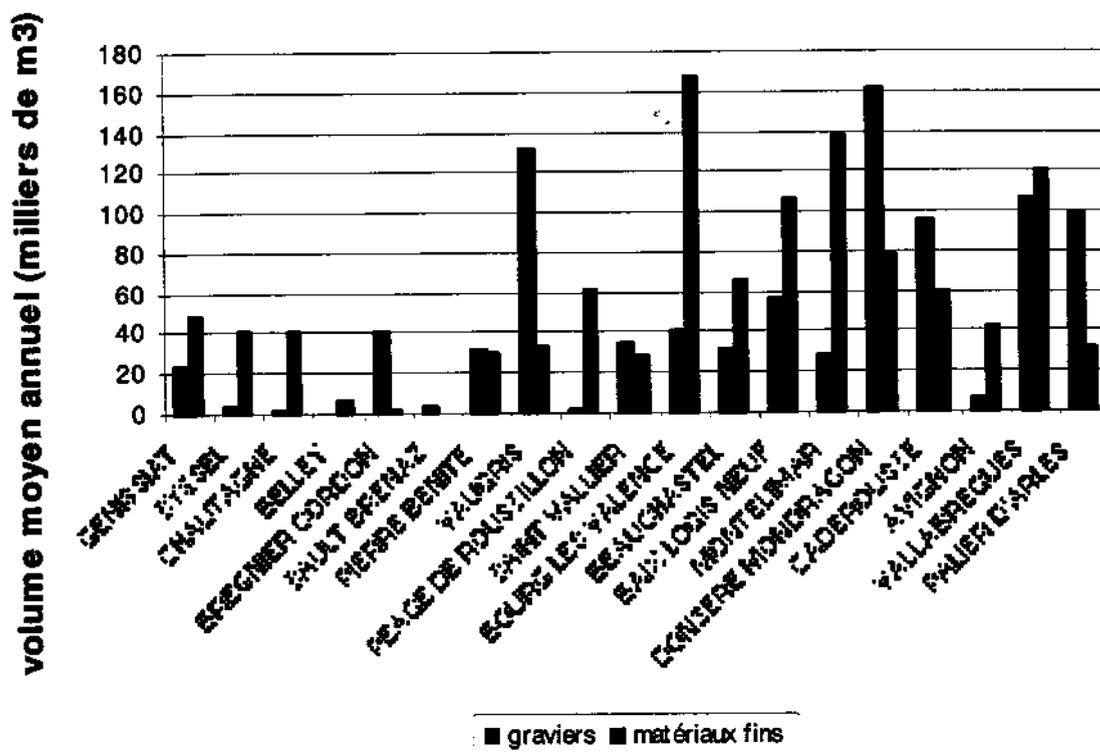
Les opérations de remobilisation des matériaux intéressent les alluvions fines transportées par suspension. Elles sont rendues nécessaires pour :

- **Le maintien de la navigation sur le Rhône**. La remobilisation des matériaux portent sur le chenal navigable, les abords des écluses et les garages à bateaux.
- **Evacuer les sédiments des retenues**. Ces opérations intéressent essentiellement les retenues de Verbois, Pougny, Génissiat et Seyssel. Néanmoins la CNR effectue des dragages de matériaux fins dans les retenues et les canaux de dérivation des aménagements aval ; ces opérations concernent des volumes limités de matériaux.
- **L'entretien des Vieux Rhône**. Les bancs sont décapés sans qu'il y ait extraction de matériaux

Le volume annuel des matériaux fins remobilisés sur les trente dernières années est estimé à environ 1 100 000 m³/an.

Bilan annuel moyen par aménagement des mouvements de matériaux sur le Rhône

| | volume annuel (milliers de m3/an) | |
|---------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| | graviers extraits | matériaux fins remobilisés |
| GENISSIAT | 24 | 48 |
| SYSSEL | 3 | 41 |
| CHAUTAGNE | 2 | 41 |
| BELLEY | 0 | 6 |
| BREGNIER CORDON | 40 | 1 |
| SAULT BRENAZ | 3 | 0 |
| PIERRE BENITE | 31 | 30 |
| VAUGRIS | 132 | 33 |
| PEAGE DE ROUSSILLON | 2 | 61 |
| SAINTE VALLIER | 35 | 28 |
| BOURG LES VALENCE | 41 | 168 |
| BEAUCHASTEL | 31 | 65 |
| BAIX LOGIS NEUF | 56 | 107 |
| MONTELMAR | 28 | 137 |
| DONZERE MONDRAGON | 162 | 79 |
| CADEROUSSE | 96 | 60 |
| AVIGNON | 6 | 43 |
| VALLABREGUES | 107 | 120 |
| PALIER D'ARLES | 98 | 32 |
| TOTAL | 897 | 1100 |



3.4 Les évolutions du lit depuis les premiers aménagements sur le Rhône

3.4.1 Le haut Rhône

Les endiguements pour la défense des terres agricoles réalisés à partir du 18^{ème} siècle puis les extractions de granulats ont conduit à une augmentation locale de la capacité de charriage du fleuve et à un enfoncement du lit sur certains secteurs (lit en aval de Seyssel, Chautagne, Canal de Miribel).

Les aménagements de la CNR mis en service entre 1948 (Seyssel) et 1986 (Sault Brenaz) et la poursuite des extractions sur les affluents ont accéléré la recharge sédimentaire du fleuve au dépens de son stock alluvial. Les évolutions morphologiques du lit sont néanmoins complexes et parfois peu marquées. Elles apparaissent essentiellement à l'occasion de crues importantes, pour lesquelles un transit solide significatif semble assuré. On peut ainsi dégager les tendances générales ci-après :

- Enfoncement du lit d'environ 1 m en aval de Seyssel observé depuis 1910.
- Enfoncement du lit dans le vieux Rhône de Chautagne et basculement du chenal observé depuis la mise en service de l'aménagement de la chute de Chautagne.
- Basculement du lit du vieux Rhône de Belley avec enfoncement en amont et exhaussement en aval de près de 1m depuis 1969.
- Incision du lit en amont du Guiers et poursuite de l'alluvionnement en aval.
- Stabilité générale du lit dans le tronçon à courant libre entre Sault-Brenaz et la confluence de l'Ain.
- Enfoncement séculaire du Rhône dans les terrasses fluvio-glaciaires du confluent de l'Ain (-0.3m entre 1966 et 1993).
- Enfoncement et basculement très significatif du lit en aval du confluent de l'Ain à la suite de la réalisation du canal de Miribel et des extractions effectuées en lit mineur jusqu'en 1991.

3.4.2 Le Rhône entre la Saône et l'Isère

Ce secteur se caractérise par une grande stabilité liée à la présence d'affleurements rocheux et au faible transit solide en aval de Lyon. Les seules évolutions significatives sont locales et liées aux importantes extractions effectuées à Pierre Bénite, Vaugris et Péage de Roussillon. Les fosses ainsi créées ont plus de 5 m de profondeur et constituent des points d'interruption durable du transit des graviers.

3.4.3 Le Rhône entre l'Isère et l'Ardèche

Les aménagements effectués pour la navigation au 18^{ème} et durant la première moitié du 19^{ème} siècle ont « chenalisé » le lit du Rhône et accentué la tendance au basculement naturel du lit de part et d'autre du Teil, avec engravement du lit en aval jusqu'à Pont Saint Esprit et incision en amont jusqu'à Tournon. On estime ainsi respectivement l'abaissement du lit à Valence et l'exhaussement à Pont Saint Esprit entre 1850 et 1950, à 1.50m environ.

Les mises en service des aménagements CNR entre 1952 (chute de Donzère Mondragon) et 1968 (chute de Bourg les Valence) ont eu pour conséquence de

réduire les apports solide dans les Vieux Rhônes et de fixer définitivement les berges du Rhône dans les retenues. L'activité morphologique et donc les évolutions latérales et du profil en long du lit sont par suite très modestes. Les seules évolutions significatives observées sur les dernières décennies se situent de part et d'autre de Pont Saint Esprit. Les apports solides de l'Ardèche et les extractions importantes effectuées en aval de Pont Saint Esprit ont en effet permis une certaine respiration du lit avec néanmoins une tendance lourde observée depuis 1955 à l'enfoncement de 1m environ en aval de Bourg Saint Andéol.

3.4.4 Le Rhône entre Donzère et Avignon

La chenalisation du lit pour les besoins de la navigation a accentué le rythme d'exhaussement déjà constaté en amont entre 1845 et 1960. Cet exhaussement est évalué à environ 1.10m en Avignon. Depuis, le profil en long du Rhône n'a pas subi d'évolution majeure.

3.4.5 Le Rhône en aval d'Avignon

Le secteur a fait l'objet d'extractions importantes de matériaux pour des raisons essentiellement économiques (construction du TGV méditerranée, fosses de compensation des ouvrages d'art, etc.). L'enfoncement consécutif du lit dans les retenues et dans les vieux Rhônes est néanmoins localisé au droit des fosses (retenue de Vallabrègues de part et d'autre de la Durance, et Rhône court-circuité de Vallabrègues en aval du barrage).

En aval d'Arles, l'endiguement systématique des lits du Petit et du Grand Rhône sur la période 1850-1950 a eu pour conséquence d'augmenter la force tractrice du fleuve et donc de favoriser le transit des matériaux grossiers vers la mer. Le lit s'est creusé de façon à réduire sa pente. On constate ainsi un abaissement des lignes d'eau à Arles durant cette période. Après 1950, l'érosion du plancher alluvial s'est poursuivi sur le petit Rhône et sur le Grand Rhône. L'incision sur la partie amont du petit Rhône est ainsi comprise entre 1 m et 4 m sur la période 1969-1995. Elle est d'environ 2 m pour la même période, sur le grand Rhône. Cette incision est à mettre en relation avec l'interruption du transit de matériaux grossiers observée en aval d'Avignon.

4 Le transit naturel des matériaux

4.1 le transit par charriage

4.1.1 Le Rhône en amont de Sault-Brénaz

Le transit des apports estimé à environ 150 à 200 000 m³/an et amenés principalement par l'Arve et le Fier sur le Haut Rhône était assuré jusqu'en aval de Seyssel. La baisse progressive de la pente réduisait ensuite le transport qui était totalement interrompu en aval du Guiers. L'exhaussement consécutif du lit explique la formation des marais de Lavours et de Chautagne et la montée séculaire du niveau du lac du Bourget.

4.1.2 De Sault-Brenaz à la Saône

La faible pente (0.3‰) limite considérablement le transport solide en amont de l'Ain. Il reprenait en aval de l'Ain du fait de la rupture de pente liée aux apports important venant du confluent. Le transit des graviers devait alors dépasser 100 000 m³/an et se redéposer en partie dans la plaine de Miribel (configuration de lit en tresse). A Lyon, le transit des apports grossiers était réduit.

4.1.3 De la Saône à l'Isère

Ce tronçon se caractérise par une pente de 0.5 ‰. Les apports de graviers étaient très limités, la Saône ne fournissant pas de matériaux grossiers au Rhône, et les apports du Rhône supérieur (Ain essentiellement) se déposant à l'entrée de Lyon. Le transit résiduel calculé à Lyon est d'environ 30 000 m³/an. Les seuls apports entre la Saône et l'Isère provenaient des affluents issus du Massif Central et pouvaient être estimés au maximum à 60 000 m³/an. En amont de l'Isère, le transit des matériaux dans le Rhône était donc d'environ 90 000 m³/an.

4.1.4 Entre l'Isère et Donzère

Le Rhône se caractérise sur ce tronçon par une forte pente (0.8 ‰) et de nombreux affleurements rocheux. Sa capacité de transport est importante. Elle est comprise entre 250 000 et 500 000 m³/an. Le transit des graviers dans le Rhône sur ce tronçon est inférieur à sa capacité de transport. Il est proche de 200 000 m³/an en aval de l'Isère et de 300 000 m³/an à Donzère, les principaux apports intermédiaires provenant principalement de la Drôme et de l'Eyrieux. Les nombreux seuils rocheux affleurants et la granulométrie plus grossière qu'ailleurs des alluvions indiquent que sur ce secteur, la pente du lit se situe à la limite de la « pente structurelle » imposée par le cadre géologique de la vallée et de la « pente morphologique » résultant de l'équilibre entre les apports en matériaux solides et la capacité de transport du fleuve.

4.1.5 Entre Donzère et Avignon

La capacité de transport du fleuve diminue progressivement de 500 000 m³/an à Donzère, à 300 000 m³/an en Avignon ; la pente du lit passant de 0.8‰ à 0.56‰. L'excédent d'apport provenant de l'amont et principalement de l'Ardèche et de la Cèze, contribuait à exhausser lentement le lit à un rythme de 0.2 à 0.3 m par siècle ; exhaussement peu perceptible à l'échelle humaine.

4.1.6 En aval d'Avignon

La faible pente de la vallée en aval d'Avignon (inférieure à 0.3‰), a favorisé le dépôt de la charge grossière du Rhône et une mobilité latérale sans exhaussement important du lit. Les apports naturels de gravier provenant du Rhône amont et de la Durance peuvent être estimés à environ 500 000 m³/an. Le transit était interrompu en Arles, puisqu'on ne décèle aucun matériaux grossier en aval, excepté les galets issus des affleurements de poudingue dans le Grand Rhône.

4.1.7 Evaluation du transit naturel

Le tableau ci-après récapitule par secteur, la capacité de transport solide par charriage du Rhône avant les premiers aménagements. Ces estimations ont été calculées à partir des caractéristiques géométriques moyennes du lit (pente, largeur et hauteur des écoulements, diamètre moyen des alluvions) et des valeurs statistiques des débits sur le Rhône. A partir de ces différentes valeurs et des estimations d'apports solide au Rhône (cf. § 2.1) il est possible de décrire de façon synthétique l'évolution du transit naturel par charriage (cf. carte ci-après).

Evaluation par le calcul de la capacité de transport solide par charriage du fleuve

| Secteur | pente naturelle (%) | Diam. moy alluvions (mm) | Diam. de surface alluvions (mm) | débit de début d'entraînement du diam. moy. (m ³ /s) | débit de début d'entraînement du diam. de surf. (m ³ /s) | nbre moyen de jours de charriage (j/an) | Capacité annuelle de charriage (m ³ /an) |
|-----------------|---------------------|--------------------------|---------------------------------|---|---|---|---|
| GENISSIAT | 1.3 | 50 | 70 | 233 | 540 | 68 | 66 000 |
| SEYSSEL | 1.2 | 45 | 63 | 205 | 475 | 92 | 100 000 |
| CHAUTAGNE | 1.13 | 40 | 56 | 169 | 392 | 139 | 186 000 |
| BELLEY | 0.91 | 35 | 49 | 175 | 406 | 153 | 167 000 |
| BREGNIER CORDON | 0.71 | 30 | 42 | 182 | 422 | 146 | 106 000 |
| SAULT BRENAZ | 0.2 | 20 | 28 | 569 | 1320 | 2 | 150 |
| MIRIBEL JONAGE | 0.8 | 40 | 56 | 305 | 706 | 103 | 134 000 |
| PIERRE BENITE | 0.45 | 40 | 56 | 811 | 1880 | 47 | 36 000 |
| VAUGRIS | 0.44 | 40 | 56 | 842 | 1953 | 53 | 32 000 |
| PEAGE | | | | | | | |
| DE ROUSSILLON | 0.47 | 40 | 56 | 753 | 1746 | 58 | 65 000 |
| SAINT VALLIER | 0.58 | 45 | 63 | 707 | 1639 | 68 | 106 000 |
| BOURG | | | | | | | |
| LES VALENCE | 0.65 | 50 | 70 | 757 | 1757 | 58 | 111 000 |
| BEAUCHASTEL | 0.71 | 55 | 77 | 827 | 1918 | 84 | 190 000 |
| BAIX LOGIS NEUF | 0.73 | 55 | 77 | 789 | 1830 | 95 | 253 000 |
| MONTELMAR | 0.75 | 55 | 77 | 753 | 1747 | 110 | 328 000 |
| DONZERE | | | | | | | |
| MONDRAGON | 0.8 | 55 | 77 | 675 | 1566 | 135 | 465 000 |
| CADEROUSSE | 0.55 | 40 | 56 | 576 | 1336 | 183 | 392 000 |
| AVIGNON | 0.43 | 35 | 49 | 627 | 1454 | | 257 000 |
| VALLABREGUES | 0.33 | 30 | 42 | 669 | 1552 | 200 | 166 000 |
| PALIER D'ARLES | 0.2 | 15 | 21 | 277 | 643 | | 199 000 |

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

5 le transit actuel

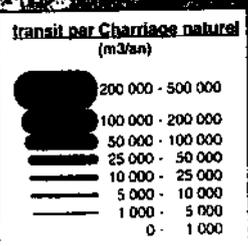
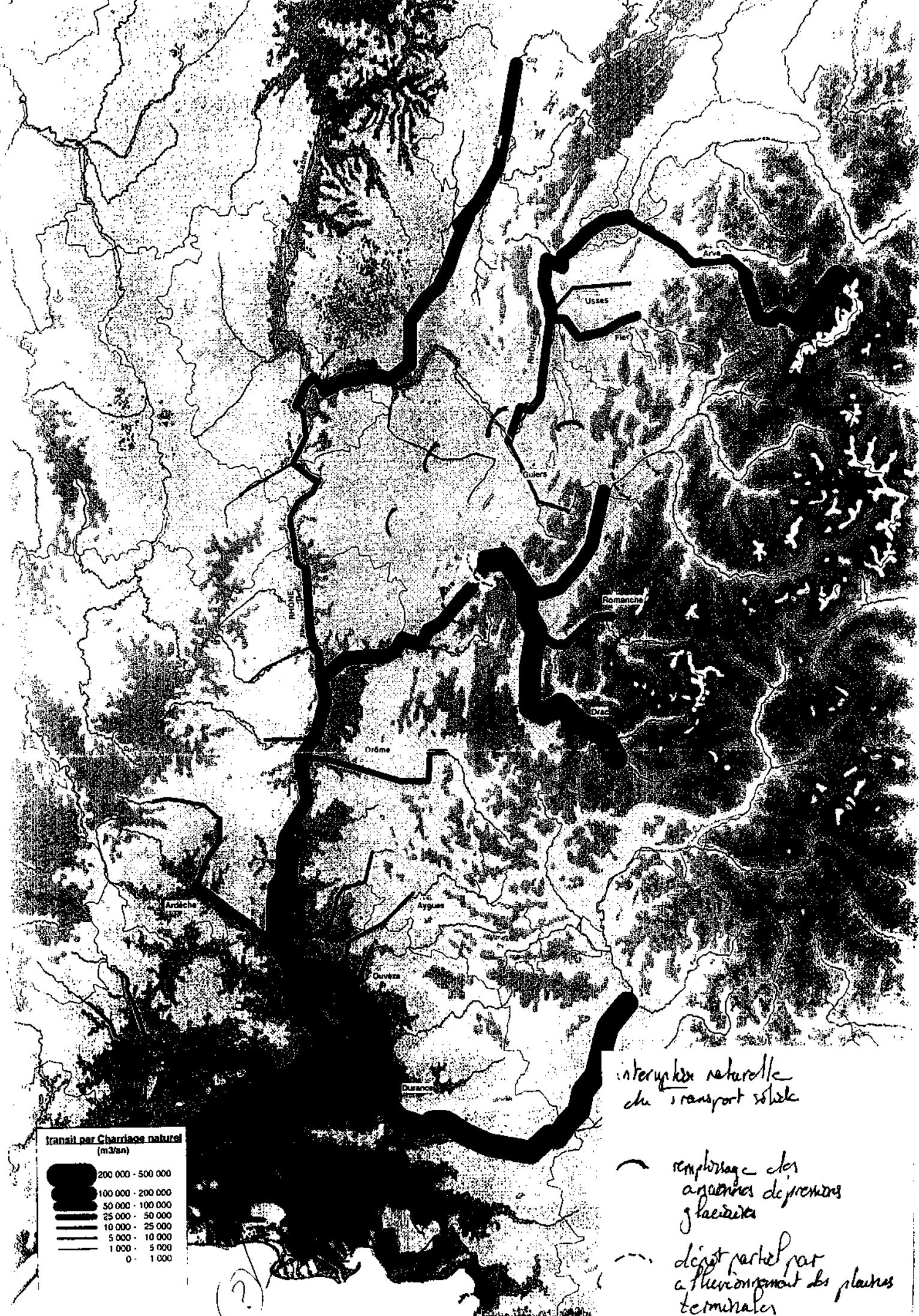
5.1 Les principaux impacts des aménagements CNR sur le transport solide

5.1.1 Réduction de la pente hydraulique dans les retenues,

Les barrages CNR créent une retenue en amont qui réduit considérablement la pente hydraulique du fleuve pour les débits courants. La réduction de la pente hydraulique est d'autant plus forte que le débit est faible. Elle est systématique pour les débits de hautes eaux qui contribuaient autrefois au charriage. En effet, les calculs montrent que la quasi totalité du transport solide par charriage s'effectuait pour les débits atteints ou dépassés 100 jours par an (cf. tableau page). La diminution de la pente dans les retenues reste sensible pour les crues moyennes. Pour les forts débits de crue (crue centennale), la pente de la ligne d'eau tend vers la pente naturelle avant aménagement ; les ouvrages deviennent « transparents » aux écoulements. Le tableau et la figure ci-après montrent que la diminution de la pente dans les retenues réduit pratiquement à zéro la capacité de transport des matériaux grossiers du Rhône.

Evolution de la capacité de charriage actuelle dans les retenues

| Aménagement | débit dépassé 1jour/10 ans (m3/s) | Pente naturelle (‰) | Pente actuelle (‰) | capacité annuelle naturelle (m3/an) | capacité annuelle actuelle (m3/an) | ratio (%) |
|--------------------|---|---------------------------|-----------------------|--|---|-----------|
| CHAUTAGNE | 1294 | 1.13 | 0.8 | 190 000 | 0 | 0 |
| BELLEY | 1446 | 1.13 | 0.15 | 120 000 | 1 600 | 1 |
| BREGNIER CORDON | 1606 | 0.91 | 0.68 | 109 000 | 1 900 | 2 |
| SAULT-BRENAZ | | | | 139 000 | 2 700 | 2 |
| PIERRE BENITE | 4496 | 0.4 | 0.15 | 140 000 | 72 000 | 51 |
| VAUGRIS | 4565 | 0.44 | 0.43 | 34 000 | 1 700 | 5 |
| PEAGE DE ROUSSILON | 4812 | 0.47 | 0.14 | 67 000 | 2 900 | 4 |
| SAINT VALLIER | 4796 | 0.58 | 0.13 | 109 000 | 2 100 | 2 |
| BOURG LES VALENCE | 4885 | 0.65 | 0.4 | 114 000 | 1 600 | 1 |
| BEAUCHASTEL | 5898 | 0.8 | 0.52 | 195 000 | 7 400 | 4 |
| BAIX LOGIS NEUF | 6051 | 0.73 | 0.68 | 261 000 | 13 000 | 5 |
| MONTELIMAR | 6205 | 0.75 | 0.36 | 337 000 | 39 000 | 12 |
| DONZERE MONDRAGON | 6205 | 0.8 | 0.4 | 476 000 | 43 000 | 9 |
| CADEROUSSE | 6403 | 0.6 | 0.1 | 552 000 | 0 | 0 |
| VALLABREGUES | 8546 | 0.37 | 0.21 | 139 000 | 260 | 0 |



interception naturelle
du transport solide

— remplissage des
aplanissements de pentes
glacières

- - - dépôt partiel par
affectation des plaines
terminales

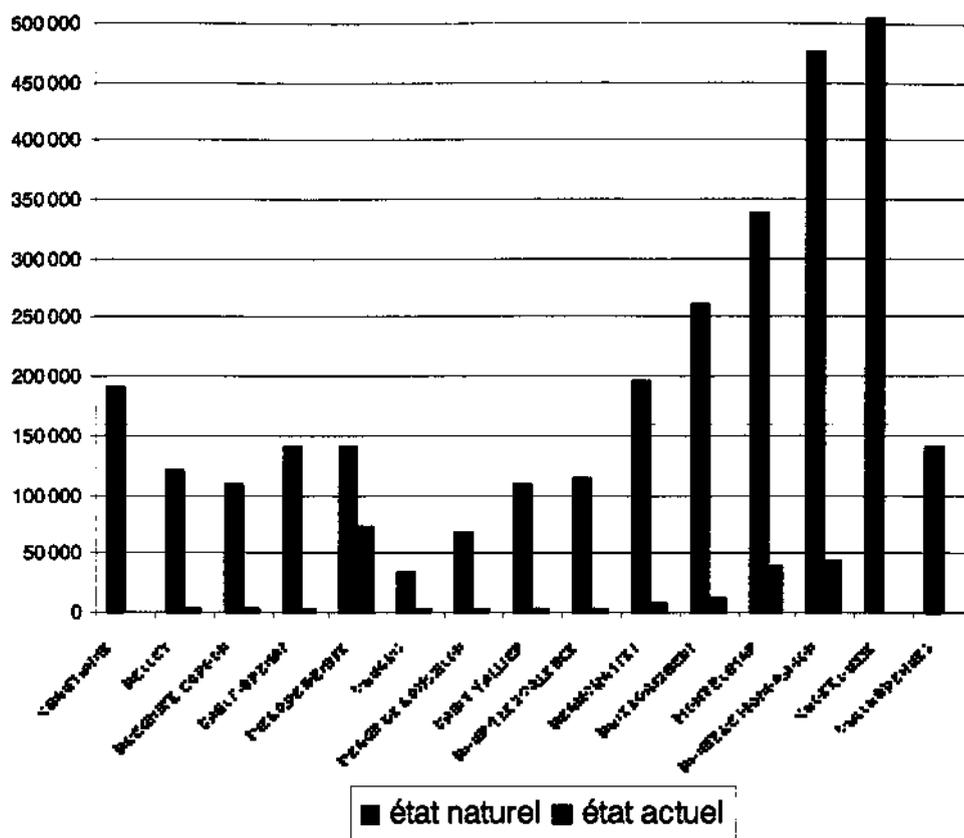
(?)

4.2 Le transit par suspension

Le transit global des matières en suspension pouvait être estimé à environ 30 Mt/an au début du 20^{ème} siècle et à 20 Mt/an dans les années 1950. Il convient d'être néanmoins très prudent sur la fiabilité de ces estimations. Ce mode de transport se caractérise en effet par une forte variabilité inter annuelle liée aux différentes typologies des crues. Les crues méditerranéennes très érosives sont en effet beaucoup plus chargées en matières en suspension que les crues océaniques. Les concentrations peuvent ainsi varier de 1 à 100 d'une crue à l'autre pour un même débit. Les débits inférieurs à 3000 m³/s ne transportent que 10 à 15% du transit total des matières en suspension.

La configuration dominante et naturelle de lit en tresse, ne permettait pas le dépôt de matériaux fins dans les bras actifs du fleuve. Ceux ci se produisaient essentiellement sur les marges boisées. Ces dépôts étaient en général repris lors des crues par érosion des marges boisées. Le bilan entre dépôt et reprise était ainsi globalement équilibré. Il n'y a que dans les tronçons à faible pente (delta et accessoirement plaine de Brangues le Bouchage en amont de Sault-Brénaz) que les dépôts de limons jouaient réellement un rôle dans la formation des berges.

Evolution de la capacité de charriage dans les retenues



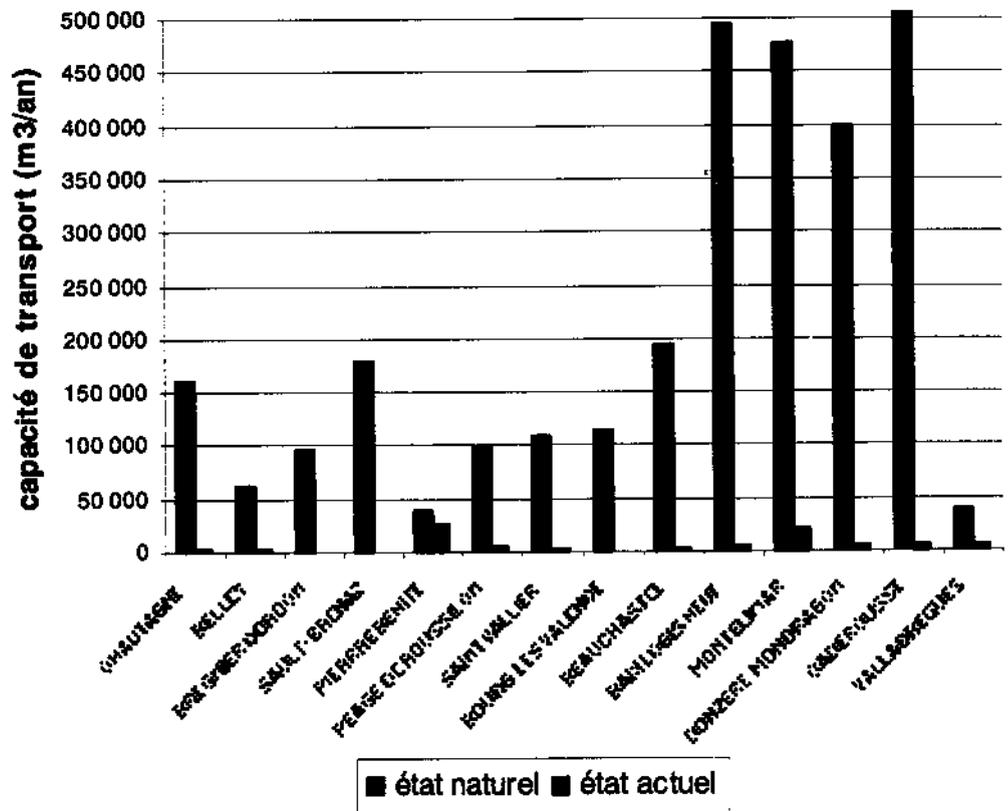
5.1.2 La réduction des débits dans les vieux Rhônes

Les canaux de dérivation prélèvent au Rhône un débit maximum supérieur au module annuel du fleuve et ne laisse dans les vieux Rhône qu'un faible débit, appelé débit réservé (voir tableau ci-après). La réduction consécutive des débits dans les vieux Rhônes diminue la fréquence des débits d'entraînement et limite ses capacités de transit des matériaux. Dans les parties terminales des vieux Rhône sous l'influence de la queue de retenue aval, le transit est doublement perturbé par la diminution des débits fréquence des débits de début d'entraînement des matériaux et la réduction de la pente hydraulique du fleuve. Afin de s'adapter à la diminution de la charge solide provenant de l'amont, et qui est en partie bloquée dans les retenues, un pavage de surface s'est formé dans le fond du lit. Ce pavage réduit d'autant plus la capacité de transport résiduel du fleuve.

La figure et le tableau ci-après illustrent la diminution de la capacité annuelle de transport solide des vieux Rhône liés à la diminution des débits.

Capacité de transport solide par charriage dans les vieux Rhône avant et après aménagement

| Aménagement | Pente naturelle (%) | d moy. alluvions (mm) | Débit de début d'entraînement (m ³ /s) | fréquence naturelle (jours/an) | fréquence actuelle (jours/an) | capacité annuelle naturelle (m ³ /an) | capacité annuelle actuelle (m ³ /an) |
|--------------------|---------------------|-----------------------|---|--------------------------------|-------------------------------|--|---|
| CHAUTAGNE | 1.1 | 40 | 392 | 139 | 1.1 | 160 000 | 1 800 |
| BELLEY | 0.69 | 30 | 406 | 153 | 2.2 | 63 000 | 1 300 |
| BREGNIER CORDON | 0.62 | 27 | 422 | 146 | 2.6 | 95 000 | 600 |
| SAULT-BRENAZ | 0.47 | 15 | | | | 180 000 | 400 |
| PIERRE BENITE | 0.45 | 40 | 1880 | 47 | 2.2 | 38 000 | 25 000 |
| PEAGE DE ROUSSILON | 0.5 | 40 | 1746 | 58 | 4.7 | 98 000 | 5 000 |
| SAINTE VALLIER | 0.58 | 45 | 1639 | 66 | 4.7 | 110 000 | 2 200 |
| BOURG LES VALENCE | 0.65 | 50 | 1757 | 58 | 1.1 | 114 000 | 250 |
| BEAUCHASTEL | 0.71 | 55 | 1918 | 84 | 4 | 195 000 | 1 900 |
| BAIX LOGIS NEUF | 0.82 | 55 | 1830 | 95 | 4.7 | 494 000 | 5 400 |
| MONTELMAR | 0.8 | 55 | 1747 | 110 | 11 | 476 000 | 20 500 |
| DONZERE | | | | | | | |
| MONDRAGON | 0.7 | 50 | 1566 | 135 | 11 | 398 000 | 4 700 |
| CADEROUSSE | 0.6 | 40 | 1365 | 183 | 14.6 | 552 000 | 4 400 |
| VALLABREGUES | 0.3 | 35 | 1297 | 200 | 15.7 | 40 000 | 4 100 |



5.1.3 la restitution « d'eaux claires » dans les retenues

Les restitutions de débits provenant des canaux de dérivation se font en général dans la queue de retenue de l'aménagement aval à plus faible pente hydraulique, et ne génèrent donc pas une reprise de la charge solide du fond ou d'érosion des berges.

5.2 Evaluation du transit actuel par charriage

5.2.1 Le haut Rhône

Le transit des graviers venant de l'Arve est totalement interrompu par le barrage de Génissiat. En Chautagne, le transit résiduel est d'environ 2000 m³/an. En amont de la confluence de l'Ain, le transit déjà naturellement faible, est actuellement totalement interrompu par les fosses d'extraction devant la centrale nucléaire du Bugey. En aval du confluent de l'Ain, le transit des matériaux grossiers venant de l'Ain, et le déstockage des matériaux du canal de Miribel par réajustement du lit suites aux extractions ont conduit à un transport solide d'environ 90 000 m³/an entre 1990 et 1996, ces matériaux se déposant ensuite dans la traversée de Lyon. L'achèvement de cette phase de réajustement, et la réalisation des seuils dans le canal, vont réduire, pour la période à venir, le volume des matériaux arrivant en amont de Lyon.

5.2.2 De la Saône à l'Isère

Le transport solide, naturellement faible sur ce secteur, a été encore réduit par les retenues de Pierre Bénite, de Vaugris, du Péage de Roussillon et de Saint Vallier. Le transport solide sur ce secteur est évalué à environ 2000 m³/an. Il est localement totalement interrompu par les anciennes fosses d'extractions qui piègent les matériaux venant de l'amont.

5.2.3 De l'Isère à l'Ardèche

Le transit résiduel peut être compris entre 10 000 et 20 000 m³/an, les apports provenant principalement de la Drôme et des affluents cévenols.

5.2.4 De l'Ardèche à la mer

Le transit actuel a considérablement diminué suite à l'interruption des apports des affluents (Durance notamment) et à la baisse importante de capacité de transit dans les retenues et sur les vieux Rhône. On constate ainsi que les fosses d'extractions évoluent très peu.

5.2.5 Synthèse du transit actuel

Le transit résiduel de matériaux grossiers peut être estimé par grands secteurs comme ci-après.

Estimation sommaire par secteur du transit résiduel par charriage

| Secteur | Transit résiduel moyen annuel (m3/an) |
|---------------------------|---|
| Chautagne | 1 000 à 2 000 |
| Bas Rhône – tiers amont | Environ 2 000 réduit à 0 en aval des fosses d'extractions |
| Bas Rhône – tiers central | 10 000 à 20 000 |
| Bas Rhône – tiers aval | 2 000 à 5 000 |

5.3 Le transit par suspension

Des mesures récentes (1986-1998) et anciennes (1956-1958) effectuées sur le Rhône à Beaucaire montrent une évolution sensible de la concentration des matières en suspension en période de crue. On estime ainsi à environ 10 Mt/an le transit des matières en suspension actuel, contre environ 20 Mt/an en 1950. Cette baisse importante est à mettre en relation avec les actions de restauration des terrains dans les parties supérieures des bassins, la mise en service des barrages réservoir sur les affluents (Ain, Isère, Durance) et les aménagements sur le Rhône.

6 Premières conclusions

Le Rhône donne aujourd'hui l'image d'un système figé :

- **Les apports solide des affluents ont été réduits par cinq suite aux extractions et accessoirement aux aménagements hydroélectriques sur les bassins versants supérieurs.**
- **Les retenues présentent une pente motrice insuffisante pour faire transiter les graviers vers l'aval.**
- **Les débits dans les Vieux Rhônes ne permettent que très rarement le transport par charriage des graviers arrivant encore de l'amont.**
- **Les anciennes fosses d'extraction dans les retenues sont de véritables piège à gravier, et constituent des points d'interruption durable du transit résiduel sur le Rhône.**

Les conséquences de l'arrêt presque total de la dynamique fluviale du fleuve sont néanmoins modérées : Le fleuve ne peut pas charrier de matériaux par insuffisance des pentes motrices dans les retenues et des débits dans les vieux Rhônes, mais les apports solides au Rhône sont devenus dans le même temps, très faibles. Ainsi **le profil en long du lit a en général peu évolué depuis la mise en service des aménagements CNR**, le lit s'est pavé et **il ne présente plus aucune mobilité latérale** (berges fixées dans les retenues, et berges des vieux Rhône fixées par les anciens ouvrages de la navigation).

Seul, **le transit des matières en suspension reste globalement significatif** bien que divisé par deux entre le début du siècle et maintenant. Il contribue, du fait de l'absence de dynamique latérale du lit, à réduire progressivement les capacités d'écoulement des crues (enlimonement progressif des marges boisées et fermetures des bras secondaires). Les lits tendent à se colmater et à réduire ainsi ses échanges avec les nappes phréatiques.

Le maintien du transit des matières en suspension est utile au maintien du trait de côte du delta. L'augmentation prévisible des apports en matières en suspension de la Durance, suite aux modifications de gestion des ouvrages EDF, devraient être bénéfiques pour le cordon littoral.

L'équilibre actuel est un équilibre statique très fragile et sans doute temporaire :

- **L'équilibre est statique car basée sur une dynamique fluviale actuellement à l'arrêt.**
- **L'équilibre est très fragile car le fleuve n'a aucun moyen de réagir à une perturbation du système :** une très forte crue « d'eau claire », faute d'apports solides, pourrait avoir un caractère très érosif et entraîner des désordres importants sur les ouvrages en lit mineur (déchaussement des fondations et érosion des digues dans les vieux Rhônes). Inversement des quantités importantes de matériaux apportés par un affluent en crue, ne pourraient être reprises par le fleuve, du fait de sa capacité de charriage insuffisante.
- **L'équilibre est temporaire, car une évolution des apports solides au Rhône est à prévoir à moyen terme.** L'arrêt des extractions depuis les années 1980 sur les affluents devraient en effet avoir pour conséquence de rétablir progressivement la continuité du transit solide jusqu'au Rhône. En l'absence de mesures d'accompagnement sur le Rhône, des évolutions notables du lit sont donc à craindre.

Les évolutions déjà constatées du lit peuvent avoir des conséquences de plus en plus dommageables pour l'environnement et les conditions d'écoulement en crue ; Ainsi l'exhaussement du lit endigué par enlèvement des Ségonaux en Camargue affecte progressivement le niveau de protection apporté par les digues actuelles ; la fermeture progressive des bras secondaires dans les vieux Rhône dégrade les conditions de vie aquatiques et diminue progressivement la capacité d'écoulement en crue du lit.

Dans ce contexte, les mesures visant à permettre une reprise de la dynamique fluviale du fleuve et donc à tendre vers un équilibre dynamique du lit ne pourront être prises qu'en considérant l'ensemble des paramètres de cette dynamique fluviale : apports solide au Rhône, hydrologie des vieux Rhône, transparence des ouvrages de retenues, gestion des berges du fleuve, etc. Des actions devront être proposées en priorité pour les facteurs les plus limitant. Il s'agit notamment de la faible capacité de transport solide actuel du Rhône dans les retenues et dans les vieux Rhône, qui interdit toute reprise d'une dynamique fluviale sur le fleuve.



Maitres d'Ouvrage

Institution Interdépartementale des bassins Rhône-Saône

5, cour Saint Ruff
26000 Valence
Tel. 0 475 781 680
Fax 0 475 780 972

www.intrsa.com

Compagnie Nationale du Rhône

2, rue André Bonin
69316 Lyon Cedex 04
Tel. 0 472 006 969
Fax 0 472 106 666

www.cnrh.com

Partenaires

Préfet coordonnateur de Bassin DIREN Rhône-Alpes

19, rue de la Villette
69425 Lyon Cedex 03
Tel. 0 472 138 315
Fax 0 472 138 359

www.diren-alpes.org

Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse

2-4, allée de Lodz (près av. Tony Garnier)
69363 Lyon Cedex 07
Tel. 0 472 712 600
Fax 0 472 712 603

www.aerh.com

Assistance à Maîtrise d'Ouvrage

Hydramat

10, rue de la République
75011 Paris
Tel. 01 42 42 42 42
Fax 01 42 42 42 42
www.hydramat.com

Minea

5, rue de la République
75011 Paris
Tel. 01 42 42 42 42
Fax 01 42 42 42 42
www.minea.com